

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 07 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Теория, расчёт и проектирование ракетных двигателей твердого
топлива
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: специалитет
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 432 (12)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных
двигателей
(код и наименование направления)

Направленность: Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
(СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование системы знаний и компетенций в области теории, расчета и проектирования ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ).

Задачами дисциплины являются:

- формирование знаний об энергетических параметрах РДТТ, газодинамических параметрах камеры сгорания, внутрибаллистических параметрах РДТТ и методах их регулирования, характеристиках сопловых блоков, способах тепловой защиты РДТТ;
- формирование умений применять на практике методы решения задач внутренней баллистики, методы расчета энергетических характеристик двигателей, выбора их оптимальных параметров, размеров камеры и сверхзвукового сопла, методы расчета разброса баллистических параметров двигателя, взаимодействия продуктов сгорания со стенками камеры и сопла;
- формирование навыков расчета энергетических характеристик РДТТ, обоснованного выбора геометрии камеры сгорания и соплового блока, расчета температурных и газовых полей в камере сгорания и сопле, расчета внутрибаллистических характеристик РДТТ, расчета тепловой защиты РДТТ, самостоятельного принятия конструкторских решений при проектировании РДТТ.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Ракетный двигатель твердого топлива, баллиститные твердые ракетные топлива, смесевые твердые ракетные топлива, конструкция РДТТ, газодинамические процессы в РДТТ, внутрибаллистические характеристики РДТТ, сопловой блок, регулирование РДТТ, тепловые процессы в элементах конструкции РДТТ, теплозащитное покрытие.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.5	ИД-1ПК-1.5	Знает теоретические основы рабочих процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива.	Знает теоретические основы рабочих процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива.	Контрольная работа
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для проведения расчетов рабочих процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива и их агрегатах.	Умеет пользоваться современными вычислительными пакетами для моделирования рабочих процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива и их агрегатах.	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.5	ИД-3ПК-1.5	Владеет навыками постановки задач, планирования и проведения вычислений, анализа и обобщения результатов расчетов при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании ракетных двигателей твёрдого топлива.	Владеет навыками постановки исследовательских задач, планирования и проведения вычислений, анализа и обобщения результатов моделирования при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при проектировании ракетных двигателей твёрдого топлива.	Защита лабораторной работы
ПК-2.8	ИД-1ПК-2.8	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива.	Знает методики и этапность проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов процессов в ракетных двигателях твёрдого топлива.	Контрольная работа
ПК-2.8	ИД-2ПК-2.8	Умеет проводить газодинамические, внутрибаллистические и тепловые расчёты ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и	Умеет проводить газодинамические, тепловые и прочностные расчёты ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования.	Защита лабораторной работы
ПК-2.8	ИД-3ПК-2.8	Владеет навыками проведения газодинамических, внутрибаллистических и тепловых расчётов ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.	Владеет навыками проведения газодинамических, тепловых и прочностных расчётов ракетных двигателей твёрдого топлива и их элементов с использованием аналитических и численных методов исследования с применением современных программных средств и анализа полученных результатов для принятия технических решений.	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	8
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	180	108	72
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	82	50	32
- лабораторные работы (ЛР)	36	18	18
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	54	36	18
- контроль самостоятельной работы (КСР)	8	4	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	216	108	108
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет	9		9
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	432	252	180

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
7-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Состав и характеристики ракетных двигателей твердого топлива	18	0	12	40
<p>Введение. Цели и задачи дисциплины, структура курса, связь данного курса с другими дисциплинами, рекомендуемая литература.</p> <p>Тема 1. Отличительные особенности ракетных двигателей. Реактивные и ракетные двигатели. Источники энергии и массы для ракетных двигателей. Химические ракетные двигатели. Солнечные ракетные двигатели. Ядерные ракетные двигатели. Электрические ракетные двигатели. Парогазовые ракетные двигатели. Сравнительный анализ ракетных двигателей.</p> <p>Тема 2. Общие сведения о ракетных двигателях твердого топлива (РДТТ). История развития РДТТ. Достоинства и недостатки РДТТ. Классификация РДТТ. Основные узлы РДТТ (понятие, терминология, обозначение).</p> <p>Тема 3. Основные энергетические характеристики ракетного двигателя. Идеальный термодинамический цикл ракетного двигателя. Термодинамический цикл с потерями. Энергетические характеристики двигателя. Удельные энергетические характеристики двигателя.</p> <p>Тема 4. Твердые ракетные топлива (ТРТ). Требования к ТРТ. Состав баллиститных ТРТ. Состав смесевых ТРТ. Характеристики ТРТ (термохимические, энергетические, баллистические, физико-механические, теплофизические, взрывчатые). Сравнительный анализ баллиститных и смесевых ТРТ.</p>				
Основы проектирования и расчета ракетных двигателей твердого топлива	32	18	24	68
<p>Тема 5. Газодинамика камеры сгорания ракетного двигателя твердого топлива. Уравнения движения газа в канале твердотопливного заряда. Квазистационарное течение. Массовый расход топлива (газоприход). Расход газа через сопло. Параметры торможения и критические параметры. Газодинамические функции. Местные сопротивления. Течение газа в предсопловом объеме. Течение газа в каналах заряда нецилиндрической формы.</p> <p>Тема 6. Расчет внутрибаллистических характеристик (ВБХ) ракетного двигателя твердого топлива. Основные участки диаграмм «давление-время» и «тяга-время». ВБХ на установившемся режиме работы РДТТ (основные уравнения, формула Бори, оценка устойчивости давления в камере сгорания). Режим воспламенения. Режим</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>набора давления в камере сгорания. Режим спада давления в камере сгорания. Этапы расчета ВБХ на стационарном участке работы РДТТ.</p> <p>Тема 7. Разбросы внутрибаллистических характеристик ракетного двигателя твердого топлива. Общие сведения. Разброс давления. Разброс расхода. Разброс тяги. Разброс времени работы двигателя.</p> <p>Тема 8. Проектирование сопла ракетного двигателя твердого топлива. Классификация основных схем сопловых блоков. Профилирование дозвуковой части сопла. Профилирование околосреднего сечения сопла. Профилирование сверхзвуковой части сопла. Определение газодинамических параметров по контуру сопла. Оценка потерь удельного импульса. Некоторые способы оптимизации контуров сопловых блоков.</p> <p>Тема 9. Регулирование ракетного двигателя твердого топлива. Постановка задачи. Способы решения. Настройка на постоянное давление. Настройка на постоянную тягу. Газодинамический способ управления величиной тяги.</p> <p>Тема 10. Выбор параметров ракетного двигателя твердого топлива. Особенности выбора параметров РДТТ. Выбор топлива. Выбор размеров камеры сгорания. Выбор давления в камере сгорания. Связь параметров РДТТ с тактико-техническими параметрами ракеты.</p> <p>Тема 11. Общие вопросы проектирования современных ракетных двигателей твердого топлива. Анализ процесса проектирования. Критерии сравнительного анализа, используемые при создании новых изделий. Логическая схема проектирования РДТТ. Выбор конструктивной схемы РДТТ.</p>				
ИТОГО по 7-му семестру	50	18	36	108
8-й семестр				
Основы термодинамического расчета	10	6	4	30
<p>Тема 12. Горение твердых ракетных топлив</p> <p>Механизм горения баллистических твердых топлив: зоны горения, основные математические соотношения. Механизм горения смесевых твердых топлив: отличительные особенности, основные математические соотношения. Эрозионное горение твердого топлива: причины возникновения, учет в расчете РДТТ, способы устранения. Вибрационное горение.</p> <p>Тема 13. Основы термодинамического расчета</p> <p>Цель термодинамического расчета ракетного двигателя. Условная формула топлива. Основы</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>химической кинетики. Диссоциация, рекомбинация, ионизация. Состав продуктов сгорания. Определение температуры в камере без учета процессов диссоциации. Определение температуры в камере с учетом процессов диссоциации.</p> <p>Тема 14. Задачи термодинамического расчета параметров рабочего процесса</p> <p>Горение в изобарной камере. Термодинамические параметры процесса течения. Определение параметров течения. Использование результатов термодинамического расчета. Горение в неизобарной камере. Погрешность расчета термодинамических характеристик.</p> <p>Тема 15. Зависимость термодинамических характеристик от основных факторов</p> <p>Общие сведения. Зависимость термодинамических характеристик от соотношения компонентов топлива. Зависимость от давления во входном сечении сопла. Зависимость от степени расширения газа или от геометрической степени расширения сопла. Особенности зависимостей термодинамических характеристик для гетерогенных продуктов сгорания.</p>				
Основы теплообмена в РДТТ	12	6	6	48
<p>Тема 16. Общая характеристика конвективного теплообмена в РДТТ</p> <p>Особенности теплообмена в РДТТ, условия взаимодействия потоков с материалами в РДТТ. Исторический очерк развития науки о теплообмене в РДТТ. Основные зоны (области) двигателя с точки зрения интенсивности тепло-массообмена в них, анализ условий тепло и массообмена в этих зонах.</p> <p>Тема 17. Модели конвективного теплообмена в РДТТ</p> <p>Особенности конвективного теплообмена в РДТТ (анализ теплообмена на утолщенной части сопла, в районе критического сечения сопла с цилиндрической горловиной, при несимметричном вдуве газа в закритическую часть сопла, конвективный теплообмен при вдуве инородного газа в пограничный слой, особенности влияния к-фазы).</p> <p>Тема 18. Радиационный обмен в РДТТ</p> <p>Анализ радиационного теплообмена в РДТТ (для гомогенных и гетерогенных сред).</p> <p>Тема 19. Основные теплозащитные материалы, используемые в РДТТ</p> <p>Анализ исходных составляющих, методов</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
получения, характеристик и теплозащитных композиционных материалов (угле- стекло-асбопластиков, феноло-каучуковых композиций, графиты, пирографиты, УККМ). Физико-химические процессы в материалах при их нагреве в условиях двигателя.				
Высокотемпературное разрушение материалов, применяемых в РДТТ	10	6	8	30
Тема 20. Высокотемпературное разрушение коксующихся материалов Абляция. Основные механизмы разрушения материалов в химически активных газовых потоках. Расчет скоростей уноса массы материалов, анализ уравнения теплового баланса, температуры поверхности разрушающегося материала; обоснование выбора потребной толщины теплозащитного материала, тепломеханическое разрушение прококсованного слоя материала, влияние структуры и технологических факторов изготовления материалов на их абляционные характеристики. Тема 21. Высокотемпературное разрушение стеклопластиков Механизм высокотемпературного разрушения материалов с учетом оплавления наполнителя, влияние к-фазы на этот процесс. Тема 22. Высокотемпературное разрушение углеграфических материалов под действием к-фазы Особенности высокотемпературного разрушения при взаимодействии с частицами; взаимодействие частиц двухфазных потоков с поверхностью материала.				
ИТОГО по 8-му семестру	32	18	18	108
ИТОГО по дисциплине	82	36	54	216

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Зависимость тяги, удельного импульса и расходного комплекса от коэффициента избытка окислителя.
2	Оценка различных видов потерь удельного импульса.
3	Расчет установившегося режима работы РДТТ.
4	Оценка устойчивости внутрикамерных процессов на установившемся режиме работы.
5	Расчет режима воспламенения.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
6	Расчет выхода двигателя на режим.
7	Расчет спада давления в камере сгорания.
8	Оценка параметров переходных режимов работы РДТТ.
9	Расчет разбросов внутрибаллистических характеристик.
10	Выбор давления в камере сгорания РДТТ.
11	Оценка влияние параметров двигателя на характеристики ракеты.
12	Определение гидродинамических параметров течения рабочего тела с использованием газодинамических функций.
13	Расчет течения газа в дозвуковой части сопла.
14	Расчет термодинамических параметров процесса горения и течения.
15	Термодинамическая оценка максимально возможных потерь скорости истечения.
16	Анализ примеров по радиационному теплообмену.
17	Определение коксовых чисел полимерных материалов.
18	Выбор толщин теплозащитных материалов в различных зонах двигателя.

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение основных энергетических характеристик РДТТ.
2	Расчет течения газа в канале заряда РДТТ по газодинамическим функциям.
3	Расчет параметров газового потока в сопловом блоке.
4	Внутрибаллистический расчет РДТТ.
5	Проектирование двигателя на максимальный суммарный импульс.
6	Настройка двигателя на постоянное давление и тягу.
7	Газодинамический расчет ракетного двигателя твердого топлива.
8	Термодинамический расчет ракетного двигателя твердого топлива.
9	Определение параметров теплового потока от продуктов сгорания к стенкам двигателя.
10	Изучение кинетических параметров процесса термического разложения полимерных материалов.
11	Определение параметров теплозащитных материалов и разрушения различных элементов конструкции в зависимости от особенностей теплового потока.

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
---------------	--

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Проектирование РДТТ малой тяги

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

<p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>
--

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

<p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически. 2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела. 3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу. 4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		

1	Абугов Д. И. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива : учебник для вузов / Д. И. Абугов, В. М. Бобылев. - М.: Машиностроение, 1987.	14
2	Евграшин Ю. Б. Проектирование и отработка ракетных двигателей на твёрдом топливе : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Евграшин. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	152
3	Ерохин Б. Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ : учебник для вузов / Б. Т. Ерохин. - Москва: Машиностроение, 1991.	55
4	Липанов А. М. Проектирование ракетных двигателей твердого топлива : учебник для вузов / А. М. Липанов, А. В. Алиев. - М.: Машиностроение, 1995.	15
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Виницкий А. М. Ракетные двигатели на твердом топливе : учебное пособие для вузов / А. М. Виницкий. - Москва: Машиностроение, 1973.	35
2	Фахрутдинов И. Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива : учебник для вузов / И. Х. Фахрутдинов, А. В. Котельников. - Москва: Машиностроение, 1987.	63
3	Шапиро Я.М. Основы проектирования ракет на твердом топливе / Я.М. Шапиро, Г.Ю. Мазинг, Н.Е. Прудников. - М.: Воениздат, 1968.	10
2.2. Периодические издания		
1	Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Инженерные методы расчета ракетных двигателей твердого топлива. - Пермь: , Изд-во ПНИПУ, 2019. - (Конструкция ракетных двигателей твердого топлива : в 4 ч. : монография; Ч. 2).	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7358	сеть Интернет; свободный доступ

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Конструирование ракетных двигателей твердого топлива. - Пермь: , Изд-во ПНИПУ, 2019. - (Конструкция ракетных двигателей твердого топлива : в 4 ч. : монография; Ч. 1).	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib7357	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Евграшин Ю. Б. Проектирование и отработка ракетных двигателей на твёрдом топливе : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Евграшин.	http://elib.pstu.ru/docview/?fDocumentId=2402	сеть Интернет; свободный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Пальчиковский В. Г. Основы проектировочного расчета внутренней баллистики маршевого РДТТ : учебное пособие для вузов / В.Г. Пальчиковский. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2000.	http://elib.pstu.ru/docview/?fDocumentId=3744	сеть Интернет; авторизованный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	http://www.diss.rsl.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Компьютеры	12
Лабораторная работа	Компьютеры	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютеры	12

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Специальность:	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация программы специалитета	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
Квалификация выпускника:	инженер
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
Форма обучения:	очная

Курс: 4

Семестр(ы): 7, 8

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 12 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 432 ч

Виды контроля:

Экзамен: 7 семестр Зачёт: 8 семестр Курсовая работа: 7 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива». Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение 2-х семестров (7-го и 8-го семестров учебного плана) и разбито на 5 учебных модулей. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, лабораторные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Промежуточный	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен	Зачёт
Усвоенные знания						
3.1 знать виды ракетных двигательных установок на твердом топливе и их назначение в составе перемещающегося аппарата		ТО1		КР1	ТВ	
3.2 знать требования, предъявляемые к зарядам и элементам конструкции РДТТ		ТО1		КР2	ТВ	
3.3 знать основные характеристики рабочих процессов в РДТТ		ТО1	ОЛР1	КР3	ТВ	
3.4 знать методы расчета параметров рабочего процесса и характеристик РДТТ		ТО2	ОЛР2 ОЛР3 ОЛР4 ОЛР5	КР4	ТВ	
3.5 знать основы автоматического управления и принципы регулирования РДТТ		ТО2	ОЛР6	КР5	ТВ	
3.6 знать основные этапы проектирования РДТТ		ТО2		КР6	ТВ	
3.7 знать механизмы горения твердых ракетных топлив		ТО3		КР7		ТВ
3.8 знать основы проведения термодинамического расчета РДТТ		ТО3	ОЛР7 ОЛР8	КР8		ТВ
3.9 знать особенности теплообмена в РДТТ		ТО4	ОЛР9	КР9		ТВ

3.10 знать механизмы высокотемпературного разрушения материалов, применяемых в РДТТ		ТО7	ОЛР10 ОЛР11	КР10		ТВ
Освоенные умения						
У.1 уметь составлять математические модели процессов, происходящих в РДТТ	С1			КР3 КР4	ПЗ	
У.2 уметь применять компьютерные технологии для разработки РДТТ и его отдельных узлов	С1			КР3 КР4 КР5 КР6 КР8	ПЗ	
У.3 уметь рассчитывать основные характеристики РДТТ, их узлов и агрегатов	С2			КР2 КР3 КР4 КР5 КР6	ПЗ	
У.4 уметь формулировать задания для расчета и проектирования РДТТ, их узлов и агрегатов	С3			КР1 КР2	ПЗ	ПЗ
У.5 уметь самостоятельно принимать решения при проектировании РДТТ	С4			КР2 КР6	ПЗ	ПЗ
У.6 уметь проектировать РДТТ, их узлы и агрегаты	С5			КР2 КР6	ПЗ	ПЗ
У.7 уметь применить инженерные и современные методы расчета для разработки эффективных систем тепловой защиты РДТТ	С6			КР9 КР10		ПЗ
Приобретенные владения						
В.1 владеть понятийным аппаратом РДТТ		ТО1	ОЛР1	КР1	КЗ	
В.2 владеть методами математического моделирования РДТТ		ТО3	ОЛР3 ОЛР4 ОЛР5 ОЛР6	КР2 КР3 КР4 КР5	КЗ	
В.3 владеть навыками решения математических моделей, описывающих процессы, происходящие в РДТТ	С1		ОЛР3 ОЛР4 ОЛР5 ОЛР6		КЗ	
В.4 владеть техникой расчета и конструирования РДТТ, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий	С2		ОЛР3 ОЛР4 ОЛР5 ОЛР6 ОЛР7 ОЛР8 ОЛР9 ОЛР12 ОЛР13		КЗ	
В.6 владеть навыками конструирования элементов РДТТ	С7		ОЛР3 ОЛР4 ОЛР5 ОЛР6 ОЛР7 ОЛР8 ОЛР9			ПЗ
В.7 владеть навыками проведения термо-прочностных расчетов для проектирования тепловой защиты РДТТ	С8		ОЛР10 ОЛР11 ОЛР12 ОЛР13	КР7		ПЗ
В.8 владеть навыками оценки эффективности тепловой защиты РДТТ	С8		ОЛР10 ОЛР11 ОЛР12 ОЛР13	КР8		ПЗ

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена.

Итоговыми оценками достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена (7 семестр) и в виде зачета (8 семестр), проводимые с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-бальной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 11 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.2.2. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 10 рубежных контрольных работ (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины: КР 1, 2, 3 – по модулю 1 «Состав и характеристики ракетных двигателей твердого топлива», КР 4, 5, 6 – по модулю 2 «Основы проектирования и расчета ракетных двигателей твердого топлива», КР 7, 8 – по модулю 3 «Основы термодинамического расчета», КР 9 – по модулю 4 «Основы теплообмена в РДТТ», КР 10 – по модулю 5 «Высокотемпературное разрушение материалов, применяемых в РДТТ».

Типовые задания КР:

1. Классификация РДТТ. Достоинства и недостатки.
2. Идеальная скорость истечения газа из сопла.
3. Удельные энергетические характеристики ракетного двигателя.
4. Определение времени спада давления в камере сгорания РДТТ.
5. Порядок расчета внутрибаллистических характеристик на стационарном участке работы РДТТ.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3. Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена (7 семестр) по дисциплине устно по билетам и в форме зачета (8 семестр).

Экзаменационный билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций. Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

Зачет по дисциплине выставляется по итогам проведенного промежуточного контроля и при выполнении заданий всех лабораторных работ.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Классификация РДТТ, достоинства и недостатки.
2. Вывод уравнений расхода топлива и расхода газа через сопло.
3. Основные точки и участки кривой «давление-время». Построение кривой «давление-время»: установившийся режим.
4. Задачи проектирования сопла. Построение профиля сопла.
5. Газодинамический способ управления тягой РДТТ.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Выполнить расчет температуры в камере сгорания РДТТ и на срезе сопла.
2. Выполнить расчет внутрибаллистических характеристики твердотопливного ракетного двигателя.
3. Выполнить расчет конвективного теплообмена в зоне соплового днища.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Провести определение распределения газодинамических параметров продуктов сгорания в канале твердотопливного заряда.
2. Построить профиль сверхзвуковой части сопла по заданным входным геометрическим параметрам.
3. Провести оценку эффективности тепловой защиты РДТТ.

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-бальной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

2.3.3. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Отличительные особенности механизма горения смесевых твердых топлив.
2. Зависимость термодинамических характеристик от соотношения компонентов топлива.
3. Основные зоны РДТТ с точки зрения интенсивности тепло-массообмена в них.
4. Основные теплозащитные материалы, используемые в РДТТ.

5. Влияние к-фазы в продуктах сгорания твердого топлива на процесс высокотемпературного разрушения теплозащитных материалов.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Оценить возможность возникновения эрозионного горения твердотопливного заряда с заданной геометрией.
2. Составить условную формулу твердого топлива по известным массовым соотношениям компонентов.
3. Выполнить расчет скоростей уноса массы материалов ТЗП.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. Определить температуру в камере сгорания РДТТ для баллистического топлива без учета процессов диссоциации.
2. Выполнить расчет распределения температуры в стенке соплового днища при заданных толщинах и свойства материалов днища и ТЗП, а также увеличение конвективного теплового потока.
3. Провести оценку возможности разрушения теплозащитного покрытия на сопловом днище при заданных условиях внешнего воздействия.

2.3.4. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-бальной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене или зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3.2. Оценка уровня сформированности компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-бальной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

Специальность
24.05.02 «Проектирование авиационных и
ракетных двигателей»
Специализация
Проектирование ракетных двигателей твердого
топлива
Кафедра
«Ракетно-космическая техника и
энергетические системы»
«Теория, расчет и проектирование ракетных
двигателей твердого топлива»

БИЛЕТ № 1

1. Классификация сопловых блоков, достоинства и недостатки (*контроль знаний*).
2. Определить давление в камере сгорания РДТТ. Исходные данные: поверхность горения топлива 1 м^2 ; площадь критического сечения сопла 0.002 м^2 , коэффициент истечения $0,007 \text{ л/с}$; плотность топлива 1750 кг/м^3 ; закон скорости горения $7,8p^{0,35}$ (*контроль умений*).
3. По заданным в файле данным изменения тяги во времени определить суммарный импульс РДТТ (*контроль умений и владений*).

Составитель _____
(подпись)

Пальчиковский В.В.

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

Соколовский М.И.

« ____ » _____ 202_ г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
(ПНИПУ)

Специальность

24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»

Специализация

Проектирование ракетных двигателей твердого топлива

Кафедра

«Ракетно-космическая техника и энергетические системы»

«Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей твердого топлива»

БИЛЕТ № 1

1. Особенности теплового нагружения соплового блока в зоне критического сечения (*контроль знаний*).
2. Найти потребную толщину покрытия стальной стенки двигателя толщиной 4 мм, температура которой должна оставаться не выше 400 °С в течение 60 с при температуре продуктов сгорания 2000 °С. Коэффициент теплоотдачи от газа к покрытию 700 Дж/с·м². Плотность стали 7850 кг/м³, удельная теплоемкость стали 540 Дж/кг·°С. Коэффициент теплопроводности покрытия 0,225 Вт/кг·°С, плотность покрытия 580 кг/м³, удельная теплоемкость покрытия 1040 Дж/м·°С (*контроль умений*).
3. По заданным в файле данным изменения во времени внутрикамерной температуры и температурных зависимостей характеристик материалов оценить предельно допустимое время работы сопла (*контроль умений и владений*).

Составитель

(подпись)

Пальчиковский В.В.

Заведующий кафедрой

(подпись)

Соколовский М.И.

« ____ » _____ 201 ____ г.